Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM
ISSN (digital): 2448-7279 • DOI: dx.doi.org/10.14350/rig.56770 • ARTÍCULOS
Núm. 94 • Diciembre • 2017
www.investigacionesgeograficas.unam.mx

Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano

Land cover and land use change in coastal basins from the Central Pacific coast of Mexico

Alejandro Jalmacin Nené-Preciado,* Gaspar González Sansón,* Manuel Eduardo Mendoza** y Francisco de Asís Silva Bátiz*

Recibido: 04/08/2016. Aceptado en versión final: 06/11/2016. Publicado en línea (versión e-print): 14/03/2017.

Resumen. En los últimos años los humedales costeros de Jalisco han sufrido transformaciones en las confluencias y en las cuencas a las que están asociados. El esquema de la gestión costera sugiere incluir la zona de estudio y las áreas adyacentes en un mismo sistema. Por lo tanto, este trabajo plantea analizar los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo en dos cuencas costeras, Arroyo Seco (CAS) y María García (CMG). Se consideraron dos periodos, 1971-1996 y 1996-2014. En total, en la CAS los bosques tropicales perdieron 4 000 ha y en la CMG 7 100 ha. Por otro lado, los usos agropecuarios aumentaron el 55% y el 175%, respectivamente. Hay dos factores detonantes de cambio: en la CMG la construcción del distrito de riego 093 generó importantes pérdidas de bosques tropicales; en la CAS el desarrollo turístico modificó las estructuras del paisaje en las confluencias de la laguna Barra de Navidad. Los principales procesos observados fueron la deforestación y la transición forestal, recuperándose solo el 30% de las superficies de bosques tropicales.

Mediante la aplicación de un modelo lineal generalizado se encontró que la deforestación, a diferencia de la transición forestal, está influenciada por valores más bajos de pendientes, altitud, distancia a localidades y a vías de comunicación, pero el modelo que mejor explica este proceso incluye las variables altitud, cuenca y periodo, debido a las características intrínsecas de cada periodo y cada cuenca.

Palabras clave: Agua Dulce–El Ermitaño, Barra de Navidad, deforestación, GLM, transición forestal

Abtract. Land cover and land use change (LCLUC) is a spatio-temporal process with a stochastic pattern produced by complex patterns produced by complex interactions among social, physical and biological components. In recent years, the coastal wetlands of Jalisco have undergone transformations in their associated confluences and basins. The coastal management strategy suggests integrating both the study and adjacent areas into the same system. Therefore, this paper proposes to analyze LCLUC processes in two coastal basins, Arroyo Seco (CAS) and María García (CMG). Two periods were considered, 1971-1996 and 1996-2014. Land cover and land use data bases for 1971 and 1996 were obtained by interpretation of scanned photographs on a screen monitor (0.5m x 0.5m pixel resolution) and ortho photographs (2m x 2m pixel resolution), respectively. The data bases for 2014 were obtained by using a combination of digital supervise classification, and interpretation of SPOT

* Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras (DEDSZC), Universidad de Guadalajara, Gómez Farías, núm. 82, San Patricio Melaque, Cihuatlán, Jalisco, México, 48980, teléfono: 31535-56330. Correos-e: alessandro3_8@hotmail.com, gaspargonzalez2001@yahoo.es, fasilva@costera.melaque.udg.mx
** Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta, Morelia, Michoacán, México, CP 58190. Teléfono 322-3839. Correo-e: mmendoza@ciga.unam.mx

fused imagines on a screen monitor (2.5m x 2.5m pixel resolution). In all cases, images were displayed on a monitor screen at a 1:10,000 scale. The data bases were generated according to FOA approach. The overall confidence level of the interpretation of the 2014 land cover and land use (LCLU) maps was 93% for CAS and 92% for CMG. During the study period (43 years), CAS lost 4,000 ha of tropical forests and CMG 7,100 ha. Agricultural use increased by 55% for CAS and 175% for CMG, representing the most important change. In synthesis, the main processes observed are deforestation and forest transition, depicting a recovery of 30% of deforested surface. The processes of deforestation and forest transition represent about 95% of all changes. A Generalized Linear Model (GLM) was used to find the relationship of deforestation and forests transition processes with some independent variables. Deforestation or forest transition were used as response variables at of each point while altitude, slope, soil type and distance to roads and localities were used as explained variables. The data base was built from a network of points every 500 meters. Two factors were also considered: basin (with two levels, CAS and CMG) and period (with two levels, P1 and P2). The data were adjusted by a GLM considering the distribution of the response variable as binomial and as a function of link the logit function. The tropical dry forest is one of the most affected land covers in the coast of Jalisco due to agricultural expansion even though there are land use and watershed management plans established in the area. There are two "external" factors that stimulated major changes, on the one hand, the construction of the irrigation district in the CMG, which promoted the loss of large areas of tropical dry forests and hydrophilic and halophilic vegetation. On the other hand, in the CAS the establishment of a touristic development has caused great modifications in the landscape at the confluences of the Barra de Navidad Lagoon. By applying a Generalized Linear Model, we found that deforestation, unlike forest transition, is influenced by lower values of: slope, altitude, distance to human settlements and roads, but the model that best explains these processes, includes such variables as altitude, basin and period, due to the intrinsic characteristics of each period and basins. The model chosen gives statistical support to the trends observed in the analysis, but part of the observed variability is not explained by the model.

Keywords: Agua Dulce–El Ermitaño, Barra de Navidad, deforestation, GLM, forest transition.

INTRODUCCIÓN

Las tendencias de cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) son procesos espaciales que siguen un comportamiento estocástico y son el resultado de interacciones complejas entre elementos físicos, biológicos y sociales (Chu *et al*., 2010; Mendoza *et al*., 2010). Además, son un producto derivado de la acción sinérgica de múltiples factores endógenos y exógenos que interactúan desde diferentes niveles de organización y se encuentran relacionados con cambios tecnológicos y ambientales, desarrollo económico, crecimiento poblacional y políticas públicas, que inducen cambios debido a programas de subsidio para actividades agropecuarias (Lambin *et al*., 2003; Lenhart *et al*., 2003; Berlanga-Robles *et al*., 2011; Peña-Cortés *et al*., 2011).

Los cambios en las regiones tropicales son negativos, y aunado a esto, la deforestación a menudo es subestimada. Para entender la complejidad de estas transiciones es importante monitorear a diferentes escalas (temporales y espaciales) y en contextos sociales e institucionales dinámicos. Las transformaciones no son lineales; se pueden entender utilizando los conceptos de sistemas adaptativos complejos, conformados por múltiples elementos interconectados, que tienen la capacidad de cambiar y adaptarse. Deben tenerse en cuenta en un ciclo donde las decisiones humanas afectan el paisaje, los procesos ecológicos y el sustento humano (Uriarte *et al*., 2010; Lambin *et al*., 2003).

La eliminación de la cobertura y los patrones de uso del suelo ejercen un efecto importante sobre la biodiversidad y sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, pudiendo potenciar los procesos de deterioro de la fertilidad de suelo, de la calidad del agua y la pérdida del hábitat, que, en consecuencia, afectan la provisión de bienes y servicios ambientales, además de traer consigo una pérdida de conectividad hidrológica, lo que modifica el transporte de materia, energía y de organismos dentro o entre los elementos del ciclo hidrológico (Freeman *et al*., 2007; Peña-Cortés *et al*., 2011).

En los últimos años los humedales costeros de Jalisco han sufrido grandes transformaciones dentro, en las confluencias y en las cuencas de aporte a las que están asociados; algunos de ellos destacan por sus características físicas y ecológicas, así como por los bienes y servicios ambientales que prestan a las comunidades que hacen uso de ellos, lo que les ha valido ser reconocidos como humedales de importancia internacional. Sin embargo, en algu-

nos casos como en la laguna Barra de Navidad, el desarrollo económoco turístico ha ejercido una fuerte presión a partir de los años 1970, lo que ha ocasionado una fuerte modificación en las estructuras del paisaje. Por otra parte, el Sistema Estuarino Lagunar Agua Dulce-El Ermitaño sufre la constante presión por las aguas drenadas del distrito de riego 093, implementado también en los 70. Este humedal tiene una gran importancia para la pesca artesanal de las comunidades aledañas.

Por lo anterior, el esquema de la gestión costera sugiere observar la zona de estudio y las áreas adyacentes desde distintos puntos de vista, pues la zona costera, en última instancia, recibe los efectos directos de las actividades que se realizan cerca de ella así como tierra adentro. Es ineludible la conexión existente, sobre todo a nivel hídrico, entre los ecosistemas más altos y lejanos de las cuencas, con las partes más bajas y la zona costera (Mora-Cordero y Chavarría, 2008; Mata y Blanco, 1994). Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo analizar en dos cuencas tropicales costeras, asociadas a humedales de importancia internacional, los procesos de CCUS, así como explorar, mediante la aplicación de un modelo lineal generalizado, la posible influencia de variables ambientales y antropogénicas sobre estos procesos.

ÁREA DE ESTUDIO

Se analizan dos cuencas del Pacífico central mexicano, la Cuenca Arroyo Seco (CAS) y la Cuenca María García (CMG) (Figura 1). La CAS se localiza entre los 19° 30’ N y 19° 09’ N y los 104° 43’ W y los 104° 25’ W, en los municipios de Cihuatlán y Cuautitlán de García Barragán, en la costa sur de Jalisco. Cuenta con una población de 8 988 habitantes y las principales localidades dentro de la cuenca son: Barra de Navidad (4 324 hab.), Tequesquitlán (1 979 hab.), El Aguacate (981 hab.), Brisas de Navidad (494 hab.) y Lagunillas

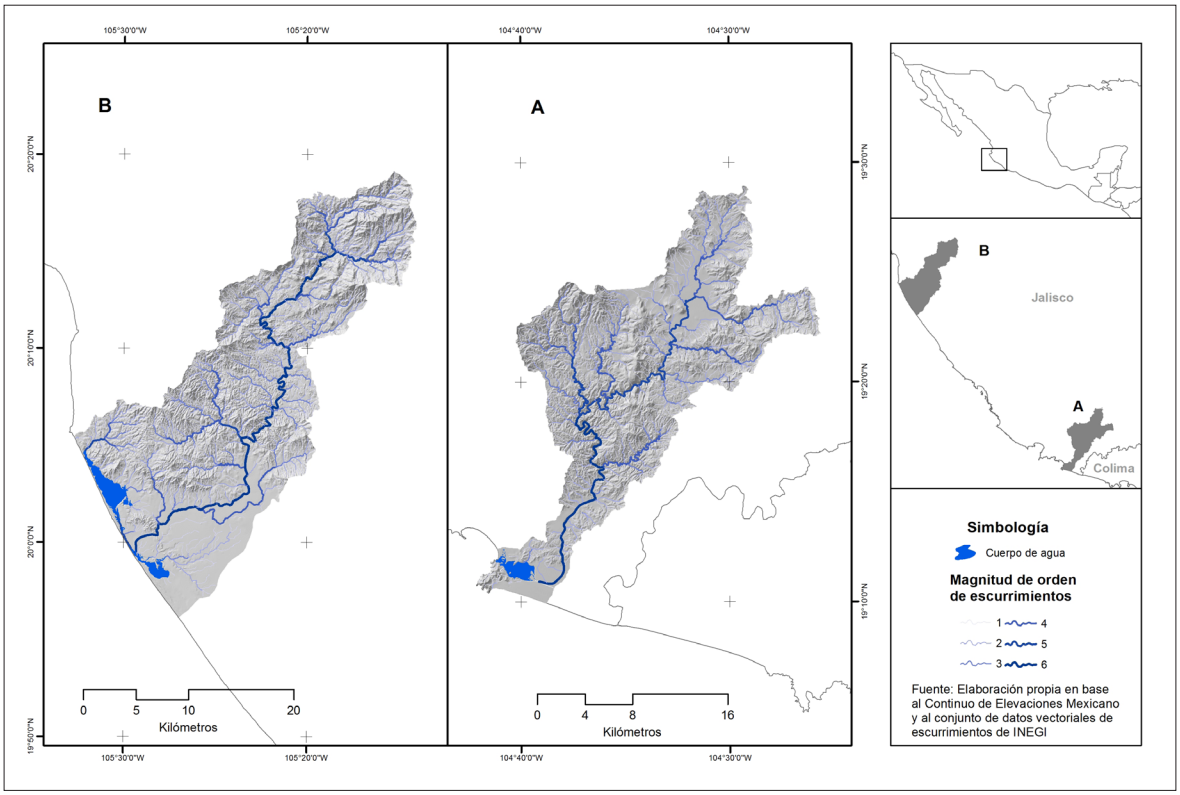

Figura 1. Localización del área en estudio, A) Cuenca Arroyo Seco, B) Cuenca María García.

(394 hab.) (INEGI, 2010). Tiene una superficie de 345 km$^{2;}$ una pendiente media del 25%; la longitud del escurrimiento principal es de 66 km, y el orden mayor es 6. El gradiente altitudinal va del nivel del mar a los 1 200 msnm; desemboca en la laguna Barra de Navidad, la cual tiene comunicación permanente con el mar.

La CMG se localiza entre los 20° 20' N y 19° 56' N y los 105° 33' W y los 105° 13' W, en los municipios de Tomatlán y Cabo Corrientes, en la costa central de Jalisco. Tiene una población de 4 132 habitantes y las principales localidades dentro de la cuenca son: La Cruz de Loreto (1 908 hab.), Nuevo Santiago (463 hab.) y Portezuelo (373 hab.) (INEGI, 2010). Tiene una superficie de 529 km^2 y una pendiente media del 19%; la longitud del escurrimiento principal es de 69 km y el orden mayor es 6. El gradiente altitudinal va del nivel del mar a 1 680 msnm; desemboca en el estero El Ermitaño, que se encuentra interconectado con la Laguna Agua Dulce por un canal artificial. La comunicación del estero con el mar se da de manera intermitente por medio de una boca-barra.

MATERIAL Y MÉTODOS

Coberturas y usos de suelo

Las coberturas y usos del suelo (CUS) se definieron para tres años: 1971, 1996 y 2014. Las bases de datos de 1971 y 1996 se elaboraron a partir de fotointerpretación. La primera de ellas, de fotografías aéreas escala 1:20 000 digitalizadas a una resolución de 0.5 m por pixel; la segunda, de ortofotos digitales de 1996, con una resolución espacial de 2 m x 2 m por pixel, ambas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Para el año 2014 se empleó una técnica mixta de clasificación supervisada y fotointerpretación de imágenes SPOT 7 con una resolución espacial de 10 m en multiespectral y 0.5 m en pancromático. En todos los casos se utilizó una visualización en pantalla a escala 1:10 000. Se usó el método de interpretación interdependiente de la FAO (1996), el cual consiste en actualizar el mapa para una fecha determinada interpretando la imagen de la fecha siguiente, lo que garantiza la congruencia entre fechas.

Las clases de CUS se obtuvieron a partir de trabajo de campo, fotografías aéreas, literatura de referencia y conocimiento previo de la zona de estudio. Se identificaron 16 coberturas, las cuales se agruparon en 9 clases para un mejor tratamiento de la información (Cuadro 1). Se utilizaron 127 puntos de verificación para la CAS y 197 para la CMG, obtenidos mediante levantamiento *in situ* (verdad de campo) e imágenes de alta resolución de Google Earth del año 2015 (verdad de foto). El número de puntos de verificación se obtuvo de la frecuencia por clase del número de polígonos resultantes en el mapa (10%). La evaluación de la confianza se realizó a través una matriz de confusión (Chuvieco, 2002).

Análisis de cambios

Se analizaron los cambios ocurridos para dos periodos, 1971-1996 (P1) y 1996-2014 (P2) y fueron calculadas las tasas de cambio para cada CUS con la fórmula siguiente (FAO, 1996):

$$TC = \left[\left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/n} - 1\right] x\ 100$$

Cuadro 1. Agrupación de coberturas y uso de suelo.

Coberturas y usos	Grupos
Bosque de *Quercus*	Bosque templado
Bosque tropical caducifolio	Bosque tropical
Bosque tropical subcaducifolio	
Bosque de galería	Vegetación hidrófila y halófila
Manglar	
Vegetación halófila y gipsófila	
Dunas costeras	Dunas costeras
Vegetación de dunas costeras	
Cauce de arroyo	Cauce de arroyo
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua
Agricultura	Usos agropecuarios
Pastizales	
Suelo desnudo	Suelo desnudo
Asentamientos humanos	Asentamientos y usos turísticos
Uso turístico	
Industria	

Donde:

TC es la tasa de cambio (%),
S_1 es la superficie en el año inicial (ha),
S_2 la superficie en el año final (ha) y
n el número de años del periodo de análisis.

A partir de la superposición espacial de las bases de datos,se construyeron matrices de transición que permitieron saber hacia dónde se orientaron los cambios en el componente espacial y temático (Pontius *et al.*, 2004). Posteriormente, se estableció un sistema clasificatorio para el análisis y cuantificación de los tipos de cambio, cada uno de ellos fue agrupado según la causalidad (Cuadro 2). Las transiciones fueron categorizadas dependiendo su origen. Los procesos de cambio identificados se plasmaron cartográficamente para su análisis desde su componente espacial en los dos periodos de estudio.

Modelo explicativo

Selección de variables

A partir de la revisión de literatura se seleccionaron variables que pudieran influir en la distribución espacial de los procesos de deforestación y transición forestal; se seleccionaron a partir de los resultados obtenidos (constituyeron cerca del 95% del total de los cambios). Las variables utilizadas fueron la altitud, la pendiente del terreno, el tipo de suelo, la distancia a caminos y la distancia a localidades. La base de datos se construyó a partir de una red de puntos cada 500 m. Se eligió este intervalo ya que quedaban representados cerca del 97% de los polígonos con alguno de estos procesos.

Se utilizaron las localidades mayores a 50 habitantes con base en los censos de población y vivienda de los años 1990 y 2010 (INEGI, 1990; INEGI, 2010); la altitud y las pendientes del terreno se obtuvieron del Continuo de Elevaciones Mexicano (INEGI, 2013), con una resolución espacial a 15 m por pixel; la información de los tipos de suelo se adquirió de las cartas edafológicas escala 1:50 000 (INEGI, 1983). Se utilizaron dos bases de datos para las vías de comunicación de los años 1996 y 2014. Para 1996 se manejaron los datos vectoriales de las cartas topográficas a escala 1:50 000 (INEGI, 1996) que fueron verificadas con fotointerpretación de ortofotos digitales; para 2014 se actualizó la base de 1996 con ayuda de

Cuadro 2. Matriz de tipo de cambio.

	C_2								
C_1	Bt	Btcys	Vhh	Dc	CaA	Ca	Uagr	Sd	AhyUt
Bt	P						D		
Btcs		P	OC		OC	OC	D	D	EAUT
Vhh			P		OC	MAUT/ OC	D	D	EAUT
Dc				P		MAUT		D	EAUT
CaA		OC	OC		P		OC		
Ca		OC	EA	OC		P	OC	MAUT	EAUT
Uagr	TF	TF	TF	TF	OC	OC	P	MAUT/ OC	EAUT
Sd		TF	TF			MAUT	OC	P	EAUT
AhyUt									P

Nota: C1) cobertura en el año inicial, C2) cobertura en el año final. AhyUt) Asentamientos humanos y Turísticos, Bt) Bosque templado, Btcys) Bosque tropical, CaA) Cauce de arroyo, Ca) Cuerpo de agua, Dc) Dunas costeras, Sd) Suelo desnudo, Uagr) Usos agropecuarios, Vhh) Vegetación hidrófila y halófila. D) Deforestación, EAUT) Expansión de asentamientos y usos turísticos, EA) Expansión por azolvamiento, MAUT) Modificaciones asociadas al uso turístico, OC) Otros cambios, TF) Transición forestal, P) Permanencia.

imágenes SPOT 7 con una resolución espacial de 10 m en multiespectral y 0.5 m en pancromático.

Para la distancia a localidades y vías de comunicación se calculó la distancia euclidiana dentro de una plataforma SIG, la cual se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$d_E\,(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Donde:

d_E es la distancia euclidiana,
P_1 es el punto inicial,
P_2 punto final y
X_1, Y_1 y X_2, Y_2, son las coordenadas cartesianas.

Modelo lineal generalizado

Se empleó un modelo lineal generalizado (GLM, por sus siglas en inglés) para encontrar la posible influencia de variables ambientales y antropogénicas y los procesos de deforestación y transición forestal. Estos modelos son una extensión de los modelos lineales que permiten utilizar distribuciones no normales de los errores (como los binomiales) y varianzas no constantes (Zuur *et al*., 2009).

Como variable de respuesta se manejó el estado de cada punto (deforestación o transición forestal). Como variables explicativas continuas se consideraron las descritas en el apartado anterior (altitud, pendiente, tipo de suelo, distancia a localidades y a vías de comunicación). El grupo de suelo fue reclasificado en tres categorías, Cambisoles, Regosoles y otros. También se consideraron dos variables discretas o factores: cuenca (con dos niveles, CAS y CMG) y periodo (con dos niveles, P1 y P2). A los datos se ajustó un GLM considerando la distribución de la variable de respuesta como binomial con función de vínculo la función logit. Expresado formalmente el modelo se definió con la siguiente expresión general (con sólo una variable continua, Xi, en la parte sistemática para simplificar):

1) $Yi \sim B(1, \pi i)$
2) $E(Yi) = \pi i$ y $var(Yi) = \pi i\,(1 - \pi i)$
3) $logit(\pi i) = \alpha + \beta\,(Xi)$

Para seleccionar el mejor modelo se realizaron varios ajustes, se consideraron diferentes combinaciones de variables continuas y factores con términos de interacción y sin ellos. Para esto se utilizó la función glm del programa R (R Deveplopment Core Team, 2013), definiendo family=binomial con función de vínculo logit. Como criterio de selección se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés). Los valores menores de AIC se consideraron indicadores de mejor ajuste. Para verificar la significación del modelo seleccionado se utilizó la función drop1 del mismo programa. Esta función parte del modelo seleccionado y ajusta un conjunto de nuevos modelos, eliminando cada vez uno solo de los términos del modelo inicial. En cada comparación (modelo completo frente a modelo sin un término) se aplicó un análisis de devianza mediante un test de cociente de verosimilitud (LRT, por sus siglas en inglés) y la probabilidad del valor obtenido se da según una distribución de chi cuadrado. Este valor de probabilidad se comparó con el nivel de significación elegido (0.05), y si es menor, el término examinado se consideró significativo.

RESULTADOS

Cambios de cobertura y uso de suelo

El nivel de confianza global de los mapas de CUS de 2014 fue del 93% para la CAS y del 92% para la CMG. En este último caso, los suelos desnudos no tuvieron presencia significativa que pudiera ser cartografiada, contrario a la CAS donde fueron plenamente identificados. De las 9 clases definidas los bosques tropicales tuvieron la mayor dominancia, mientras que los usos agropecuarios fueron la segunda clase con mayor superficie en ambas cuencas (Figura 2, Cuadro 3). Estas clases mostraron el mayor dinamismo de cambio en ambas cuencas y en ambos periodos de análisis.

Los bosques tropicales tuvieron las mayores pérdidas de superficie en ambas cuencas. En la CAS en cada periodo se deforestaron cerca de 3 300 ha para la transformación a usos agropecuarios; sin embargo, hubo una importante transición forestal de estos usos (1 496 ha en el P1 y 1 177 ha en el

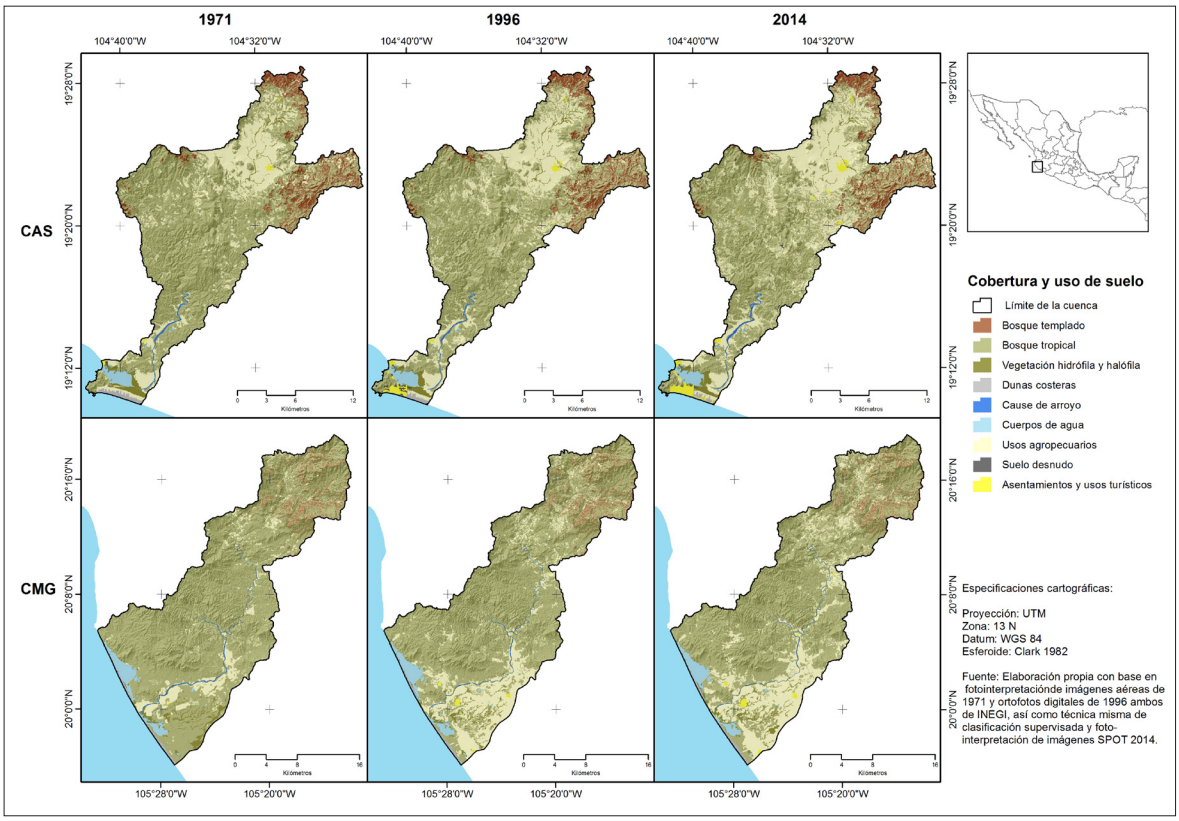

Figura 2. Cobertura y uso de suelo en las cuencas Arroyo Seco (CAS) y María García (CMG) en los años 1971, 1996 y 2014.

Cuadro 3. Superficie (ha) y tasas de cambio (%) de las CUS.

CAS							
Cobertura y uso de suelo	1971	1996	2014	Diferencia 1971-1996	TC anual 1971-1996	Diferencia 1996-2014	TC anual 1996-2014
Bosque templado	2,499.5	2,470.0	2,402.4	-29.6	0.0	-67.6	-0.2
Bosque tropical	23,528.5	21,719.3	19,529.5	-1,809.2	-0.3	-2,189.7	-0.6
Vegetación hidrófila y halófila	578.4	503.2	495.8	-75.2	-0.5	-7.3	-0.1
Dunas costeras	218.0	136.8	119.3	-81.2	-1.5	-17.5	-0.7
Cauce de arroyo	129.2	122.7	151.2	-6.5	-0.2	28.5	1.3
Cuerpos de agua	397.8	406.2	363.3	8.3	0.1	-42.9	-0.6
Usos agropecuarios	7,040.1	8,742.1	10,906.7	1,702.0	1.0	2,164.6	1.4
Suelo desnudo	12.2	86.0	56.5	73.9	24.3	-29.6	-1.9
Asentamientos y usos turísticos	77.1	294.6	456.2	217.4	11.3	161.6	3.0

Cuadro 3. Continúa.

CMG							
Bosque templado	1,379.8	1,381.5	1,373.1	1.8	0.0	-8.5	0.0
Bosque tropical	44,581.8	39,460.1	37,483.5	-5,121.7	-0.5	-1,976.5	-0.3
Vegetación hidrófila y halófila	1,037.7	818.6	892.3	-219.1	-0.8	73.7	0.5
Dunas costeras	353.9	356.3	356.3	2.5	0.0	0.0	0.0
Cauce de arroyo	291.6	229.5	206.7	-62.1	-0.9	-22.8	-0.6
Cuerpos de agua	1,135.0	1,114.0	1,073.3	-20.9	-0.1	-40.7	-0.2
Usos agropecuarios	4,130.3	9,446.9	11,347.9	5,316.5	5.1	1,901.0	1.1
Asentamientos y usos turísticos	12.9	116.0	189.9	103.1	31.9	73.8	3.5

P2). Como resultado de todos los cambios ocurridos por esta y otras coberturas, la pérdida neta de superficie de bosques tropicales fue de 1 809 ha en el P1 y 2 189 ha en el P2 (Cuadros 3 y 4).

En la CMG la deforestación en bosques tropicales creada por los usos agropecuarios fue de más de 6 000 ha en el P1, mientras que en el P2 se observó una tendencia similar a la presentada en la CAS (3 488 ha). De la misma manera se presentó una transición forestal de usos agropecuarios a bosques tropicales de 1 050 ha en el P1 y 1 538 ha en el P2. Por este y otros cambios, hubo una disminución total de la superficie del 11% en el P1, mientras que en el P2 se manifestó una reducción similar a la presentada en la CAS en ambos periodos (Cuadros 3 y 5).

Aunque las pérdidas de los bosques tropicales en ambas cuencas son grandes para los periodos

Cuadro 4. Matriz de transición en la cuenca Arroyo Seco en los periodos 1971-1996 y 1996-2014. Las superficies se presentan en ha.

	1996										
1971	Bt	Btcys	Vhh	Dc	CaA	Ca	Uagr	Sd	AhyUt	Total	Perdida
Bt	2,413.8						85.8			2,499.5	85.8
Btcs		20,216.0				1.8	3,277.2	18.3	15.3	23,528.5	3,312.5
Vhh			476.9			8.5	50.3	21.2	21.5	578.4	101.4
Dc				136.8		0.8		12.3	68.0	218.0	81.2
CaA		6.3			122.6		0.2			129.2	6.6
Ca		0.3	0.03			391.6		1.3	4.5	397.8	6.2
Uagr	56.2	1,496.6	26.2		0.1	1.4	5,328.7	30.6	100.3	7,040.1	1,711.4
Sd						2.1		2.3	7.8	12.2	9.9
AhyUt									77.1	77.1	0.0
Total	2,470.0	21,719.3	503.2	136.8	122.7	406.2	8,742.1	86.0	294.6		
Ganancias	56.2	1,503.2	26.2	0.0	0.1	14.5	3,413.4	83.7	217.4		

Cuadro 4. Continúa.

	2014										
1996	Bt	Btcs	Vhh	Dc	CaA	Ca	Uagr	Sd	AhyUt	Total	Perdida
Bt	2,361.5						108.4			2,470.0	108.4
Btcs		18,339.7			40.7	0.7	3,303.2	19.4	15.5	21,719.3	3,379.5
Vhh			442.5				58.4	1.0	1.3	503.2	60.7
Dc				114.1					22.6	136.8	22.6
CaA		7.8			109.0		5.9			122.7	13.7
Ca			43.5			362.5			0.2	406.2	43.6
Uagr	40.9	1,177.8	7.7	5.2	1.5		7,428.9	8.0	72.1	8,742.1	1,313.2
Sd		4.2	2.2				1.7	28.1	49.8	86.0	57.9
AhyUt									294.6	294.6	0.0
Total	2,402.4	19,529.5	495.8	119.3	151.2	363.3	10,906.7	56.5	456.2		
Ganancias	40.9	1,189.8	53.4	5.2	42.2	0.7	3,477.8	28.4	161.6		

Nota: AhyUt) Asentamientos humanos y Turísticos, Bt) Bosque templado, Btcys) Bosque tropical, CaA) Cauce de arroyo, Ca) Cuerpo de agua, Dc) Dunas costeras, Sd) Suelo desnudo, Uagr) Usos agropecuarios, Vhh) Vegetación hidrófila y halófila.

bajo estudio, las tasas de cambio (TC) fueron bajas durante los dos periodos analizados (Cuadro 3).

El crecimiento de los usos agropecuarios en la CAS fue de 1 702 ha en el P1 y 2 164 ha en el P2. Al mismo tiempo que se dio la expansión sobre los bosques tropicales, en ambos periodos se presentaron aumentos sobre bosques templados y vegetación hidrófila y halófila. En la CMG, en el P1, estos usos tuvieron un crecimiento considerable de 5 316 ha, mientras que en el P2 fue similar a lo presentado en la CAS (1 901 ha). Los aumentos fueron principalmente en detrimento de los bos-

Cuadro 5. Matriz de transición en la cuenca María García en los periodos 1971-1996 y 1996-2014. Las superficies se presentan en ha.

	1996									
1971	Bt	Btcs	Vhh	Dc	CaA	Ca	Uagr	AhyUt	Total	Perdida
Bt	1,375.4						4.4		1,379.8	4.4
Btcs		38,401.9	31.0		2.1	4.4	6,069.0	73.3	44,581.8	6,179.9
Vhh			665.7		7.8	1.0	363.2		1,037.7	372.0
Dc				353.9					353.9	0.0
CaA		8.1	30.2		217.1		36.3		291.6	74.5
Ca			22.0	2.5		1,108.6	1.9		1,135.0	26.4
Uagr	6.2	1,050.1	69.7		2.5		2,972.1	29.8	4,130.3	1,158.2
AhUt								12.9	12.9	0.0
Total	1,381.5	39,460.1	818.6	356.3	229.5	1,114.0	9,446.9	116.0		
Ganancias	6.2	1,058.1	152.9	2.5	12.4	5.4	6,474.8	103.1		

Cuadro 5. Continúa.

	2014									
1996	Bt	Btcs	Vhh	Dc	CaA	Ca	Uagr	AhyUt	Total	Perdida
Bt	1,370.4						11.1		1,381.5	11.1
Btcs		35,939.2			3.3	1.0	3,488.6	27.9	39,460.1	3,520.8
Vhh			692.4		9.6	3.1	106.8	6.6	818.6	126.2
Dc				356.3					356.3	0.0
CaA		5.8	25.7		185.2		12.9		229.5	44.3
Ca			46.9			1,067.1			1,114.0	46.9
Uagr	2.6	1,538.5	127.3		8.5	2.1	7,728.5	39.3	9,446.9	1,718.4
AhyUt								116.0	116.0	0.0
Total	1,373.1	37,483.5	892.3	356.3	206.7	1,073.3	11,347.9	189.9		
Ganancias	2.6	1,544.3	199.9	0.0	21.5	6.2	3,619.4	73.8		

Nota: AhyUt) Asentamientos humanos y Turísticos, Bt) Bosque templado, Btcys) Bosque tropical, CaA) Cauce de arroyo, Ca) Cuerpo de agua, Dc) Dunas costeras, Uagr) Usos agropecuarios, Vhh) Vegetación hidrófila y halófila.

ques tropicales y en menor medida sobre la vegetación hidrófila y halófila. En ambas cuencas hubo una transición forestal de los usos agropecuarios a bosques tropicales, boques templados y vegetación hidrófila y halófila. La TC ocurrida en el P1 de la CMG fue del 5.1% anual, muy por encima de lo observado en el periodo posterior y en la CAS en ambos periodos (Cuadros 3, 4 y 5).

La expansión de asentamientos y usos turísticos en la CAS se realizó sobre bosques tropicales, usos agropecuarios, dunas costeras, vegetación hidrófila y halófila y en suelos desnudos. En la CMG este crecimiento se dio principalmente sobre los bosques tropicales y usos agropecuarios. En ambas cuencas las TC fueron muy superiores en el P1 con respecto al P2 y en términos de superficie tuvieron un mayor crecimiento en la CAS que en la CMG (Cuadro 3, 4 y 5).

En la CAS, en el P1, debido a las modificaciones asociadas al uso turístico en las confluencias de la laguna Barra de Navidad, se observó un importante aumento de suelos desnudos que causó una disminución en el cuerpo de agua por rellenos realizados (1.3 ha), así como la perdida de dunas costeras (12 ha), vegetación hidrófila y halófila (21 ha), bosques tropicales (18 ha) y usos agropecuarios (30 ha). Además, se llevaron a cabo otras acciones que causaron una ampliación del espejo de agua sobre vegetación hidrófila y halófila, bosques tropicales y usos agropecuarios. Para el P2 hubo una expansión por azolvamiento de 43.5 ha de vegetación hidrófila y halófila (manglar) en la laguna. Este mismo fenómeno se presentó para el cuerpo de agua del sistema estuarino lagunar Agua Dulce–El Ermitaño (CMG), donde la expansión fue de 22 ha en el P1 y de 47 ha en el P2 (Cuadro 4 y 5).

El resto de las clases presentaron cambios marginales con respecto a la cuenca donde se ubicaban. En la CAS, en ambos periodos y en el P1 de la CMG, hubo eliminación de vegetación hidrófila y halófila, mientras que en el P2 de esta última aumentó 73.7 ha. Las dunas costeras en la CMG no sufrieron cambio alguno, mientras que en la CAS mostraron detrimentos considerables de superficie (81.5 ha en el P1 y 17.5 ha en el P2); de igual manera, en esta cuenca, en el P2, se perdieron 67.6 ha de bosques templados (Cuadro 3).

Tipos de cambios

Las transiciones suscitadas fueron catalogadas según su causalidad dentro de los siguientes procesos: a) deforestación; b) transición forestal; c) expansión de asentamientos y usos turísticos; d) expansión por azolvamiento; e) modificaciones asociadas al

uso turístico, y f) otros cambios. Los incisos d y e fueron definidos con base en el conocimiento previo del área de estudio.

De todos los cambios suscitados, los procesos de deforestación y transición forestal ocuparon el mayor porcentaje en ambas cuencas. Las áreas deforestadas de la CAS en ambos periodos fueron del 10%, mientras que en la CMG en el P1 fue del 12% y el P2 de un 6%, con respecto a la cuenca. La transición forestal ocupó el 4.6% en P1 y 3.6% en P2 en CAS, mientras que CMG, durante el P1, la recuperación fue de 2.1% y 3.2% en el P2. Las áreas que no mostraron cambio alguno en la CAS fueron el 85% en cada periodo y en la CMG el 85% en el P1 y el 89% en el P2 (Cuadro 6, Figura 3).

Modelo explicativo

El análisis de las variables cuantitativas para cada cuenca en cada periodo permitió comprobar algunos patrones generales. En todos los casos los valores medios son significativamente menores en zonas con deforestación con respecto a zonas con transición forestal. Los procesos de deforestación cuentan con valores más bajos de pendientes, menor altitud, mayor cercanía a localidades y a vías de comunicación (Figura 4). Los grupos de suelo no tuvieron ninguna significancia para estos procesos. A partir de esta información de base se evaluaron varios modelos explicativos de los patrones de deforestación-transición forestal observados.

El modelo seleccionado incluyó las variables cuenca (CAS, CMG) y periodo (P1, P2) como factores cualitativos y la variable continua altitud, las interacciones de primer orden para pares de variables y la interacción de segundo orden de las tres variables (Cuadro 7). El criterio de selección fue que el AIC resultó ser menor (7 104.4) con respecto a otros posibles modelos que consideraron diferentes variables y cuyos valores de AIC variaron entre 7 251.2 y 7 413.5. Según la prueba drop1, la interacción de segundo orden resultó no significativa (LRT=3.197, p=0.073), mientras que las interacciones de primer orden resultaron todas significativas: cuenca x periodo (LRT=9.021,

Cuadro 7. Modelo lineal Generalizado para los procesos Deforestación-Transición forestal.

	Coeficientes	Error Est.	Valor de z	Pr(>|z|)
Intercepto	-1.434	0.140	-10.217	<0.001
Cuenca: CMG	-0.709	0.161	-4.402	<0.001
Periodo: P2	0.884	0.195	4.546	<0.001
Altitud	0.001	0.001	4.735	<0.001
CMG x P2	0.673	0.223	3.017	0.002
CMG x altitud	0.001	0.001	2.351	0.019
P2 x altitud	-0.002	0.001	-5.844	<0.001
CMG x P2 x altitud	-0.001	0.001	-1.787	0.074

Cuadro 6. Superficie por tipo de cambio en las cuencas Arroyo Seco y María García.

Proceso	Cuenca Arroyo Seco				Cuenca María García			
	1971-1996 ha	%	1996-2014 ha	%	1971-1996 ha	%	1996-2014 ha	%
Deforestación	3,465.0	10.0	3,490.5	10.1	6,436.6	12.2	3,606.5	6.8
Expansión de asentamientos y usos turísticos	217.4	0.6	161.6	0.5	103.1	0.2	73.8	0.1
Expansión por azolvamiento	0	0	43.5	0.1	22.0	0.04	46.9	0.1
Modificaciones asociadas al uso turístico	43.3	0.13	---	---	---	---	---	---
Otros cambios	10.1	0.03	66.3	0.2	127.7	0.2	72.0	0.1
Transición forestal	1,579.0	4.6	1,237.9	3.6	1,126.0	2.1	1,668.4	3.2
Permanencia	29,165.9	84.6	29,481.0	85.5	45,107.6	85.2	47,455.3	89.7

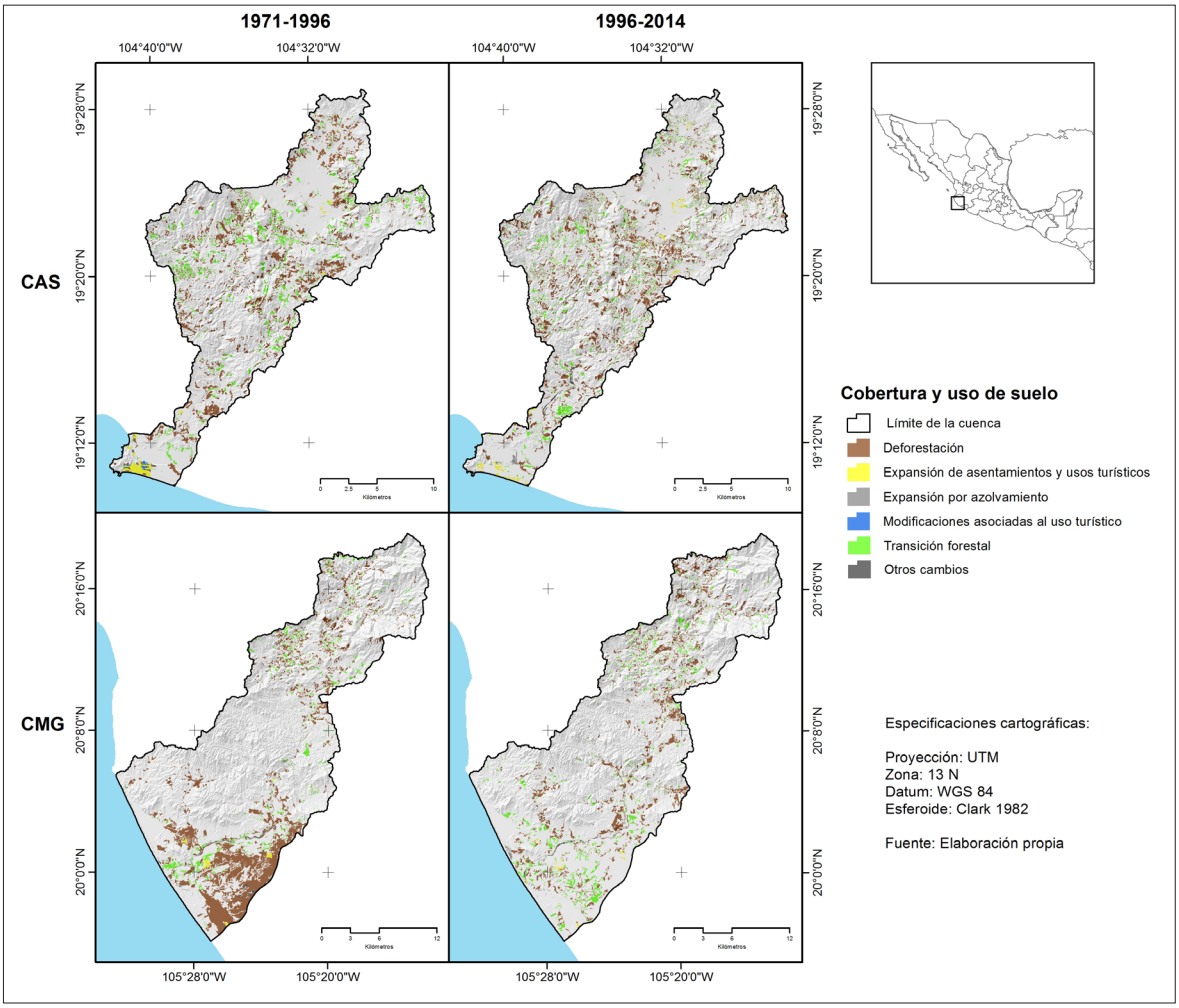

Figura 3. Procesos de cambio en las cuencas Arroyo Seco (CAS) y María García (CMG) 1971-en los periodos 1996 y 1996-2014.

p=0.003); cuenca x altitud (LRT=5.464, p=0.019); periodo x altitud (LRT=34.844, p<0.001). Con base en este resultado, no se examinaron las variables por separado, pues no tiene sentido examinar sus efectos de forma independiente.

La interacción significativa de los factores cuenca y periodo se puede interpretar a partir de la proporción de deforestación en cada combinación de los niveles de estos factores (Figura 5). En la CMG la deforestación disminuyó claramente en más de 0.15 del P1 al P2. Por otra parte, en la CAS la tendencia del cambio fue inversa, aunque menor, aumentando 0.025 del P1 al P2. Para la interpretación de las interacciones cuenca x altitud y periodo x altitud, la variable altitud se agrupó en 10 clases con intervalos de 100 m y se graficó con la proporción de deforestación por clases de altitud para cada cuenca (Figura 6) y cada periodo (Figura 7). En el caso de las cuencas hay respuestas diferentes en cada una de ellas por clase altitudinal. En algunas clases la CAS presenta valores mayores de deforestación, mientras que otros casos ocurre lo contrario o ambas cuencas presentan valores muy similares. En el caso de los periodos, se aprecian tendencias diferentes al aumentar la altitud. En el P1 la deforestación disminuyó con la altitud, mientras que en el P2 se observó una tendencia contraria, más ligera, al aumento.

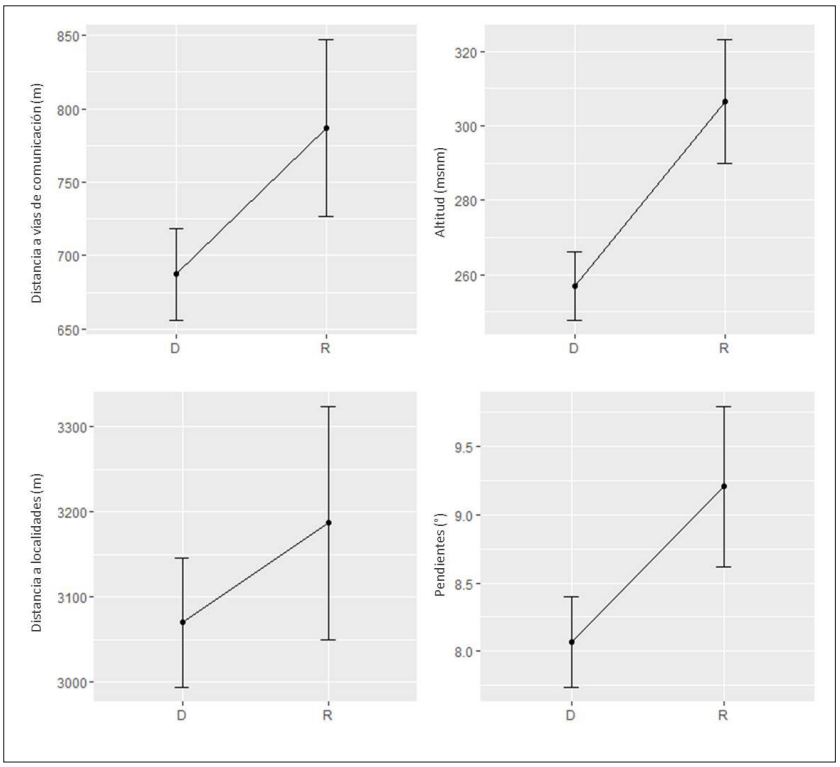

Figura 4. Valores medios e intervalos de confianza (95%) para las variables cuantitativas según el proceso considerado. D=Deforestación, R=Transición Forestal.

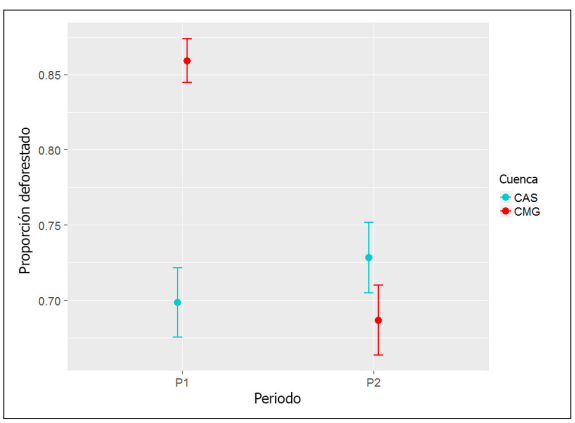

Figura 5. Valores medios (±IC95%) de la proporción deforestada según la cuenca y el periodo de análisis.

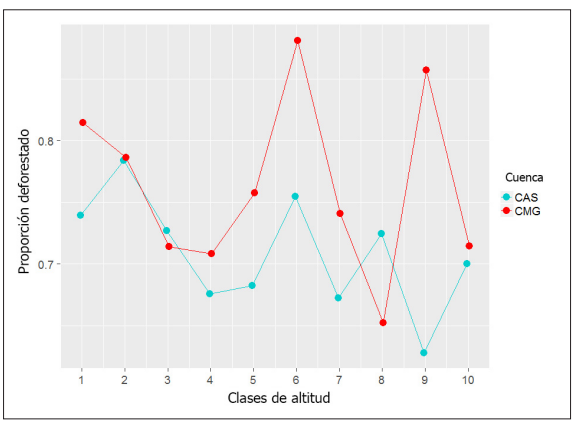

Figura 6. Valores de la proporción deforestada según la cuenca y las clases de altitud (msnm). 1) < 100, 2) 100 - 200, 3) 200-300, 4) 300-400, 5) 400-500, 6) 500-600, 7) 600-700, 8) 700-800, 9) 800-900, 10) 900-1000.

DISCUSIÓN

Cambios de cobertura

Los resultados de los análisis muestran que los bosques tropicales y los usos agropecuarios son las coberturas con mayor distribución dentro de estas cuencas costeras en los tres años de estudio. Por tal motivo los cambios de superficie muestran una clara dinámica entre estas coberturas. En la CAS la pérdida de 3 999 ha de bosques tropicales en todo el periodo de análisis (1971-2014), es el reflejo del aumento de 3 867 ha de usos agropecuarios. En la CMG estos bosques redujeron su cobertura en

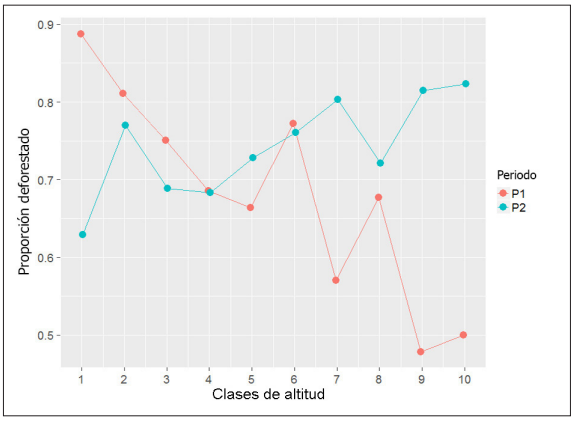

Figura 7. Valores de la proporción de deforestada según el periodo de análisis y las clases de altitud. 1) < 100, 2) 100 - 200, 3) 200-300, 4) 300-400, 5) 400-500, 6) 500-600, 7) 600-700, 8) 700-800, 9) 800-900, 10) 900-000.

7 098 ha por el incremento de 7 218 ha de usos agropecuarios. Debido al aumento de estos usos también hubo grandes pérdidas de vegetación hidrófila y halófila. El importante crecimiento de los usos agropecuarios en la CMG fue motivado por la construcción del Distrito de Riego 093 Tomatlán (DR) el cual fue construido en el P1.

Aunque la pérdida de superficie de los bosques tropicales en ambas cuencas resultó elevada durante el periodo estudiado, las TC son bajas, oscilaron en un rango del -0.6% al -0.3% anual. Los usos agropecuarios presentaron tasas similares en ambas cuencas, pero en el P1, en la CMG, la instalación del DR 093 ocasionó que la tasa de cambio fuera del 5.1% anual, muy superior a lo que se presentó en el periodo posterior y en la CAS. Las tasas de deforestación de los bosques tropicales se encuentran dentro del rango que presentan a nivel nacional (Mas *et al.*, 2009; Rosete-Vergés *et al.*, 2014), así como lo reportan otros trabajos realizados a escala regional en la vertiente del Pacifico mexicano (Berlanga-Robles *et al.*, 2011; Nájera *et al.*, 2010; Osorio *et al.*, 2015).

Los asentamientos y usos turísticos en ambas cuencas presentaron un comportamiento de mayor crecimiento en el P1 en comparación con el P2. Aunque las TC fueron altas, en términos brutos de ampliación de superficie los aumentos fueron mayores en la CAS que en la CMG. Si bien en ambas cuencas hay crecimiento poblacional, en la CMG existe aparición de nuevas localidades mayores a 50 habitantes dispersas en la cuenca, mientras que la CAS, existe una concentración de localidades en los alrededores de los asentamientos de Barra de Navidad y Cihuatlán.

Transiciones y tipos de cambio

La construcción de un desarrollo turístico de dentro de la CAS, en las confluencias de la laguna Barra de Navidad, ocasionó transiciones atípicas producidas por rellenos y ampliaciones en el espejo de agua y en los márgenes de la laguna para usos turísticos, originando la conversión de bosques tropicales, usos agropecuarios y vegetación hidrófila y halófila, específicamente manglar, a cuerpos de agua. El gran número de proyectos de desarrollo turístico y habitacional en la franja costera genera que las comunidades cercanas estén teniendo el mayor CCUS y, por consecuencia, grandes impactos (Márquez-González, 2008). Lo anterior quizá ha generado el problema del azolvamiento de esta laguna costera, lo que promovió en otras zonas el crecimiento de vegetación hidrófila (manglar) sobre el cuerpo de agua.

El proceso de conversión de bosques tropicales a usos agropecuarios en tres niveles de análisis (P1 y P2 de la CAS y P2 de la CMG) estuvo en el rango de las 3 200 ha–3 500 ha, pero en el P1 de la CMG, debido a la implementación del DR 093, hubo una deforestación de más del doble de lo que se presentó en el periodo posterior y en la CAS. La intensificación de los usos agropecuarios se debe a diversas circunstancias, entre ellas las características biofísicas, los incentivos de mercado, las influencias políticas que provocan el aumento del valor del suelo, así como la mejora de los sistemas de transporte y comunicación, por lo que los productores adoptan diversas estrategias para una mayor intensificación de la actividad con las repercusiones que en el ecosistema implica (Hiraoka, 1995).

Del total de cobertura de bosques tropicales que fueron deforestados por los usos agropecuarios, en tres niveles de análisis, entre el 35% y el 45% sufrieron una transición forestal a bosques tropicales a finales del periodo, aunque en valores absolutos las cifras son muy similares (de 1 000 a

1 500 ha); por su parte, la velocidad en la que se desarrollaron es diferente por el tamaño de cada cuenca. Berlanga-Robles *et al*. (2010) encontró esta misma tendencia en la costa norte de Nayarit. Los bosques tropicales mostraron la mayor pérdida de cobertura, pero tuvieron una transición de un tercio de lo que perdió, lo que hizo que la clase presentara una tendencia negativa de cambio.

La amplitud territorial de todos los procesos ocurridos abarcaron alrededor del 15% de las superficies de las cuencas en cada periodo, de estos, el 95% fue dominado por la deforestación y la transición forestal, evidenciando claros procesos de expansión-abandono de los usos del suelo en ambas cuencas. Si bien la conversión de la cobertura vegetal ha tenido lugar en las latitudes medias del hemisferio norte durante el último siglo, la deforestación y la conversión de bosques tropicales a tierras de cultivo y pastizales son frecuentes en la actualidad y se prevé que continúen (Jonko *et al*., 2010).

Modelo explicativo

En la proporción de deforestación hay una fuerte evidencia de interacción cuenca-periodo: en la CAS la deforestación aumentó significativamente con respecto al P1 y en la CMG la deforestación disminuyó en el P2. Los procesos de deforestación en ambas cuencas y en ambos periodos, según el análisis exploratorio, se encuentran en valores más bajos de pendientes y de altitud y a una mayor cercanía a localidades y vías de comunicación, por lo tanto las zonas que sufrieron transición forestal se encuentran en pendientes más pronunciadas, a una mayor altitud y a una mayor distancia a localidades y caminos. A menores distancias a localidades y vías de comunicación, la deforestación se presenta con mayor frecuencia; del mismo modo, la pendiente se relaciona negativamente con la deforestación: a menores pendientes mayores probabilidades de deforestación, pero esta no ocurre en pendientes suaves en lugares remotos o en pendientes fuertes cerca de las carreteras, sino en lugares que combinan pendientes moderadas y proximidad a las carreteras o a los asentamientos humanos (Osorio *et al*., 2015).

Las variables explicativas están fuertemente correlacionadas y, de manera conjunta, se encuentran representadas de una manera importante por la altitud. Se puede entender la influencia que ejercen sobre los procesos de deforestación y transición forestal, a través de las teorías de las ciencias sociales, en cuanto a la hipótesis de afectar la decisión de la deforestación (por ejemplo, en un modelo de von Thünen, la accesibilidad es la hipótesis que afecta la elección; en un modelo ricardiano, es la calidad del suelo; en un modelo chayanoviano, es la relación consumidor-trabajo). Aunque la mayoría de variables son estadísticamente significativas de manera individual, ninguna de las variables de localización resultan estadísticamente significativas en el modelo continuo (Geoghegan *et al*., 2001).

En el caso de las cuencas, hay respuestas diferentes dentro de cada clase de altitud. Solo en una clase la CAS presenta valores mayores de deforestación; en la mayoría de los casos la CMG presenta mayor deforestación por clase de altitud y en una par de casos presenta valores muy similares, esto está dado por el relieve que caracteriza a cada cuenca y por la distribución de asentamientos humanos y, por lo tanto, por la accesibilidad. En la CAS los asentamientos están concentrados en las clases bajas de altitud de la cuenca y en la CMG existe una gran dispersión de asentamientos sin una tendencia clara. Por otro lado en el caso de los periodos se aprecian tendencias muy diferentes en la proporción de deforestación al aumentar la altitud. En el P1 la deforestación disminuyó con la altitud, mientras que en el P2 se observó una tendencia contraria más ligera al aumento. En el P1 en ambas cuencas las zonas deforestadas se encontraron en las porciones bajas de la cuenca (a menor altitud) que contaban con una mínima pendiente, menores distancias a las vías de comunicación y a las localidades, pero, posteriormente, para el P2 estas zonas avanzaron en áreas menos proclives para el desarrollo de usos antropogénicos incentivado por la aparición de nuevas vías de comunicación en zonas con mayor pendiente y altitud.

Los factores que influyen en los procesos de CCUS han evolucionado inicialmente a partir de la dependencia de los elementos naturales como la pendiente, altitud, tipo de suelo, cercanía al recurso

agua, entre otros, y al final por la estructuras del paisaje influenciadas por el hombre, como el desarrollo o crecimiento económico, políticas públicas, desarrollo tecnológico etc. (Schweizer y Matlack, 2014). Los análisis históricos del paisaje pueden abarcar toda la complejidad de los acontecimientos, en particular estocásticos o no aleatorios, pero se pueden detectar eventos imprevisibles que afectan significativamente a los CCUS (Lambin *et al*., 2003). Tal es el caso de los factores detonantes de cambios, por un lado, en la CMG la apertura del DR 093, motivado por políticas públicas para el fomento de usos agropecuarios, que ocasionó una gran deforestación de bosques tropicales y vegetación hidrófila y halófila; y, por otro lado, en la CAS el desarrollo económico en las zonas costeras originó importantes modificaciones en las estructuras del paisaje dentro y en las confluencias de la laguna Barra de Navidad.

CONCLUSIONES

Por el crecimiento de la frontera agropecuaria, el bosque tropical es una de las coberturas vegetales más afectadas en la costa de Jalisco a pesar de la existencia de instrumentos de planeación como los ordenamientos ecológicos y los planes de manejo de cuencas hidrográficas. En 43 años estos bosques se redujeron en 17% en la CAS y en 16% en la CMG, esto significa una deforestación de 4 000 ha y 7 100 ha, respectivamente, mientras que los usos agropecuarios aumentaron en un 55% en la CAS y un 175% en la CMG. Por lo anterior, el principal tipo de cambio que se presenta es la deforestación, pero en ambas cuencas se exhibe una tendencia de recuperación de bosques tropicales (transición forestal) de un tercio de su perdida, principalmente de usos agropecuarios, similar a lo que se ha presentado en otros trabajos.

Existen dos factores importantes que incentivaron grandes cambios: por un lado, la construcción del DR 093 en la CMG ocasionó la pérdida de grandes superficies de bosques tropicales y vegetación hidrófila y halófila, y por otro, en la CAS, el establecimiento de un desarrollo turístico que ocasionó grandes modificaciones del paisaje e impactos a los ecosistemas en la laguna Barra de Navidad y en las confluencias de esta.

El modelo escogido da soporte estadístico a las tendencias que se observaron en el análisis exploratorio, pero existe una porción de la variabilidad observada que no es explicada por el modelo. Esto se puede considerar normal, los procesos de deforestación y transición forestal responden a variables que no han sido incluidos en el análisis, la gente deforesta y abandona por diferentes motivos y, en cierta medida, es básicamente aleatorio. Por lo que los procesos de CCUS son parcialmente determinísticos, ya que los elementos del paisaje inclinan las decisiones de cambio, pero, al mismo tiempo, son estocásticos ya que de igual forma influyen variables antropogénicas que en ocasiones difícilmente pueden establecerse como reglas en la modelación espacial del CCUS.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONACYT por la beca de doctorado, los autores agradecemos al Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras del Centro Universitario de la Costa Sur, perteneciente a la Universidad de Guadalajara por el apoyo proporcionado para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

Berlanga-Robles, C. A., García, R., López, J. y Ruiz, A. (2010). Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones Geográficas, 72*, 7-22.

Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., Covarrubias-Legaspi, O. y Hernández-Guzmán, R. (2011). Escurrimiento en la Cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, Sinaloa, asociados a cambios de uso del suelo: Una aproximación con el modelo del número de curva. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, *63*(1), 39-52.

Chu, H., Lin, Y.-P., Huang, C.-W., Hsu, C.-Y. y Chen, H.-Y. (2010). Modelling the hydrologic effects of dynamic land-use change using a distributed hydrologic model and a spatial land-use allocation model. *Hydrological Processes*, *24*(18), 2 538-2 554. Recuperado de: http://doi.org/10.1002/hyp.7667

Chuvieco, S. E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio.* Barcelona: Ariel.

FAO (1996). *Forest Resource Assessment Programme 1990, Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes*. Forestry Paper 130. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Freeman, M. C., Pringle, C. M. y Jackson, C. R. (2007). Hydrologic Connectivity and the Contribution of Stream Headwaters to Ecological Integrity at Regional Scales. *Journal of the American Water Resources Association*, *43*(1), 5-14. Recuperado de: http://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x.

Geoghegan, J., Villar, S. y Klepeis, P. (2001). Modeling tropical deforestation in the southern Yucatan peninsular region: comparing survey and satellite data. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 85(1-3), 25-46, Recuperado de: http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00201-8.

Hiraoka, M. (1995). Land use changes in the Amazon estuary. *Global Environmental Change*, 5(4), 323-336. Recuperado de: http://doi.org/10.1016/0959-3780(95)00066-W

INEGI (1983). *Cartas Edafologia, escala 1:50 000.* México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI (1990). *XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.* México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes. Recuperado el 16 de noviembre de 2015 de: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv1990/

INEGI (1996), *Cartas Topográficas, escala 1:50 000.* México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI (2010), *XIII Censo General de Población y Vivienda, 2010*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México. [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/: 16 de noviembre de 2015].

INEGI (2013). *Continuo de elevaciones mexicano 3.0* (CEM 3.0). México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México. Recuperado el 10 de abril de 2014 de: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx

Jonko, A. K., Hense, A. y Feddema, J. J. (2010). Effects of land cover change on the tropical circulation in a GCM. *Climate Dynamics*, 35(4), 635-649. Recuperado de: http://doi.org/10.1007/s00382-009-0684-7

Lambin, E., Geist, H. y Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, *28*, 205-241. Recuperado de: http://doi: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105459

Lenhart, T., Fohrer, N. y Frede, H. G. (2003). Effects of land use changes on the nutrient balance in mesoscale catchments. *Physics and Chemistry of the Earth*, *28*, 1301-1309. Recuperado de: http://doi.org/10.1016/j.pce.2003.09.006

Márquez-González, A. R. (2008). Cambio de uso de suelo y el desarrollo turístico en Bahía de Banderas, Nayarit. *Ciencia UANL*, *XI*(2), 161-167.

Mas, J.-F., Velázquez, A. y Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura / uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, *1*(1), 23-39.

Mata, A y Blanco, O. (1994). *La Cuenca del Golfo de Nicoya: un reto al desarrollo sostenible.* San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Mendoza, M., Bocco, G., López-Granados, E. y Bravo, M. (2010) Hydrological implications of land use and land cover change: Spatial analytical approach at regional scale in the closed basin of the Cuitzeo Lake, Michoacan, Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography*, *31*(2), 197-214. Recuperado de: http://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2010.00400.x

Mora-Cordero, C. y Chavarría, J. B. (2008). Factores que afectan la cuenca del río La Estrella y recomendaciones para la gestión ambiental en su zona costera (Caribe de Costa Rica). *Revista de Biología Tropical*, *56*(4), 191-203.

Nájera, O., J. Bojórquez, J. Cifuentes y S. Marceleño (2010), "Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit", *Biociencias*, vol. 1, núm. 1, pp. 19-29.

Osorio, L. P., Mas, J.-F., Guerra, F. y Maass, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, 88*, 60-74.

Peña-Cortés, F., Pincheira-Ulbrich, J., Escalona-Ulloa, M. y Rebolledo, G. (2011). Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, *43*(2), 1-20.

Pontius, R. G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2–3), 251-268. Recuperado de: http://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008

R Development Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Recuperado de: http://www.R-project.org

Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E. y

Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21-35.

Schweizer, P. E. y Matlack, G. R. (2014). Factors driving land use change and forest distribution on the coastal plain of Mississippi, USA. *Landscape and Urban Planning*, *121*, 55-64. Recuperado de: http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.003

Uriarte, M., Schneider, L. y Rudel, T. K. (2010). Synthesis: land transitions in the tropics. *Biotropica*, *42*(1), 59-62. Recuperado de: http://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00583.x

Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., . Saveliev, A. A y M. Smith, G. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R.* New York: Springer.